

TARİHSEL BİNALARIN YAPISAL ANALİZİ

Tarihsel Chartres ve Bourges Katedrallerinin optik gerilme analizi metoduyla yapılan incelemelerinde estetik güzelliğin yapısal gereklerle birleştirildiği meydana çıkmıştır. Daha sonra yapılan Gotik Katedrallerde ise yanlış bina şekillerinin örnek alındığı aklı gelmektedir.

ROBERT MARK

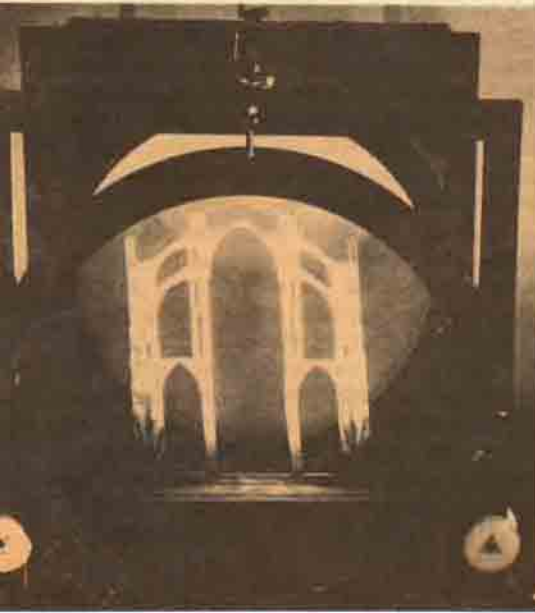
12 nci yüzyıl Batıda müthiş bir değişikliğin başlamış olduğu devirdi. 1099 yılında ilk Haçlılar Seferi bitmiş, Akdeniz yeniden bir Avrupa denizi olmuş, ticaret yollarının tekrar açılması, kuvvetli ve zengin bir tüccar sınıfının doğması Orta Çağ toplumunun bütün dokusunu değiştirmeye başlamıştı. Zenginliğin artması ve doğu ile olan temasın genişlemesinin bir sonucu olarak yeni bir mimarlık şekli de ortaya çıkmıştı, ki bu Gotik'ti.

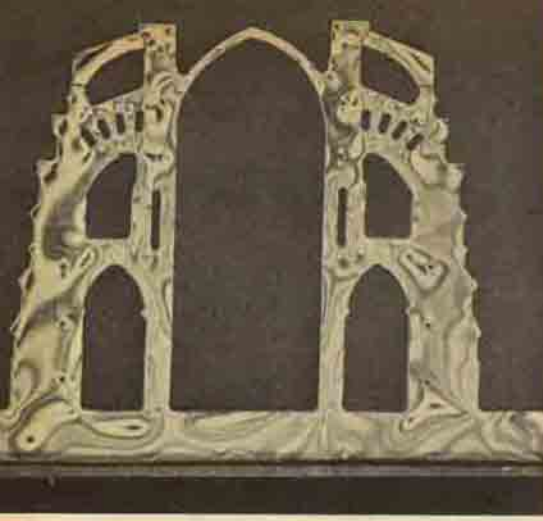
Esas karakteristikleri, yapı şekli ve ışığı. Yapının kendi dikme, kaburga, tonoz ve destekleri tarafından meydana getirilen etkiler uygulanan dekorasyonu hükümleri altında tutuyordu. Hattâ iç kısmının «aydınlık verici» olması da bu iç yapının bir başarısıydı. Büyütülmüş duvar boşluklarına konulan renkli camlardan geçen ışık bunu yaratıyordu. Yüzyılın sonunda iç yapı üzerindeki bu çalışma gözle

görülebilecek şekiller almayı başarmıştı. İki büyük Gotik katedrali yapı halindeydi, biri Fransa'da Chartres, öteki de Bourges'ti. Asıl bundan sonraki yüzyılın ilk yarısında, İle de France bölgesinde, Gotik mimarisinin, 1221'de Chartres'in, sonra Reims Katedralinin en önemli kısımlarının ve Amiens'in bitmesi ile en yüksek aşamasına eriştiği kabul olunur, ki bu iki yapıttan birincisine 1211, ikincisine de 1220'de başlanılmıştı.

Sonradan klâsik yüksek Gotik adıyla anılan esas yapısal karakteristikler Chartres'te oluşmuş ve bundan sonraki binalarda daha zarıflaştırılmıştır: İnce, dört kısımdan meydana gelen, kaburgalı sivri tonozlar, çubuklu kubbeler, düzgün aralıklarla uzun dikmeler tarafından sıkıca tutulmuş, ayakların kendileri de, dışardaki ayak şeklindeki desteklere binen istinat kemerleri aracılığıyla, üst pencereler düzeyinde yatay olarak desteklenmiştir, bunlar da ayak şeklindeki desteklere veya yüksek dış kulelere gider ki, bunların da üzerinde sivri tepeli küçük kuleler vardır. Ayrıca araya sokulacak yük taşıyan duvarlara ihtiyaç yoktu, bu yüzden de onların yerini pencere boşlukları alıyordu (Şekille bkz.). Bu katedrallerin orta geçitlerinin yüksekliği hayret vericidir: Chartres'da yerden tonoz kilit taşlarının altına kadar olan mesafe 35,88 metre, Reims'de 37,40 metre, Amiens'de 41,65 metredir. Tonozların üzerine gelen sivri bir çatı da bi-

Yapıların optik gerilim analizleri polariskop denilen bir âletin içinde yapılır. Bir katedral'in (burada Amiens'in) plâstikten yapılmış bir modeline polarize filitreler arasından bakılır. Plâstikteki gerilim bölgeleri girişim şekilleri meydana getirirler.





na kısmının tüm yüksekliğine 18,25 metre ekler.

Bu oldukça hafif ve yüksek duvarcı yapısını mümkün kılan yeni yapısal sistemlerin böyle görsel kısa bir zaman içinde gelişiminin nedeni hiç bir zaman tam olarak açıklanmış değildir. 700 yıllık bir sürede bu büyük yapıtların (birkaçı dışında) hiç bir ârıza göstermemeleri onu yapanların teknik yeteneklerinin ne kadar büyük olduğunu bir delildir. Bu istikrar rekoru acaba nasıl elde edilmiştir? Katedraller herhangi bir matematik yapısal kuramdan faydalanmadan yapılmıştır. Ayrıca bu devrin mimarları da Romen rakamlarıyla hesap yaptıklarından, basit hacimleri bile hesap edemeyecekleri kabul edilebilir. Onların ilk önce plân yaparken yardımcı olacak küçük modellerden faydalandıkları düşünülebilir. Fakat herhangi bir sayısal yetenek olmadan, ölçü kuramlarını bilmeden, yapmış olacakları modeller tam büyüklükteki yapının yük altında nasıl çalışacağını önceden gösteremezlerdi. Benim kendi varsayımına göre binanın plânı; bina yapılırken yapılan gözlemlere göre birçok kez değiştirilmiştir. Yüksek rüzgârlar veya geçici desteklerin kaldırılmasının harçta meydana getirdiği çatlaklar alınacak yeni tedbirlere esas olurdu.

Katedral yapıcılarının çizim plânı ile ilgili teknik problemlere nasıl yaklaştıklarını anlamaktan çok uzak kalan mimarlık tarihçileri onların bu yaklaşımlarına şekil veren dürtüler hakkında bile fikir birliğine varmış değildiler. Örneğin 19 uncu yüzyılın ünlü katedral restore uzmanı Eugène Viollet-le-Duc'e göre, «her gotik

Chartres'in modeli. Katedralin sahininin bir kesiti, üzerine gelen rüzgârın etkisini gösteriyor. Girişim şekilleri çevre eğrisi haritalarında olduğu gibi gerilim şiddetlerini göstermektedir. Her renk değişik bir girişim sırası vermekte ve bu da gerilimin değişik şiddetlerini belirlemektedir. Modelin siyah kesimlerinde gerilim sıfır ve ışık şeritlerinin en sık olduğu yerlerde en yüksektir.

yapı ögesi yapısal bir ihtiyaçtan doğmuştur». Öte yandan çağdaş bir mimarlık tarihçisi olan John Summerson da şöyle yazıyordu: «Sivri uçlu Gotik kemerinden faydalanılması esas itibarıyla statik bir tedbirdir, fakat bunun aynı zamanda istenilerek seçildiği ve bir zevk meselesi olduğu hakkında da yeter derecede delil vardır... Gotik mimarisinde, hemen hemen herşeyde olduğu gibi, kaburgalı tonozlar da estetik düşüncelerin ürünü olmuştur». Böylece ortaya birbirinin aksi iki fikri savunan realistlerle, illusionist'ler (hayalperestler) çıkıyordu. Realistler Katedralleri teknik yeteneğin bir zaferi sayarken, ötekiler böyle mükemmel bir güzelliğin teknik bir yaklaşımdan doğacağını hiç bir şekilde kabul etmiyorlardı.

1960'da ünlü Ortaçağ tarihçisi Paul Frankl teknik bir yorumun güçlüğüne kabul etti ve meslek arkadaşlarına bir «Fizikçi»nin fikrinin alınmasını tavsiye etti. Modern fizikçiler uygulamalı mekaniğin incelenmesine pek yanaşmadılar. Bununla beraber bu işi araştırma mühendislerinin eline verdiler ve son on yıl içinde mühendisler de yeni deneysel ve komputere dayanan sayısal model yapma teknikleri geliştirdiler ve böylece yekpare binaların nasıl çalıştığını analiz etmek olanağına sahip oldular. Princeton Üniversitesinde talebelerim 6 yıl kadar önce modern analiz metodlarının, Gotik şeklinin anlamı hakkındaki cevapsız kalmış sorulara uygulanabileceğini düşündüler.

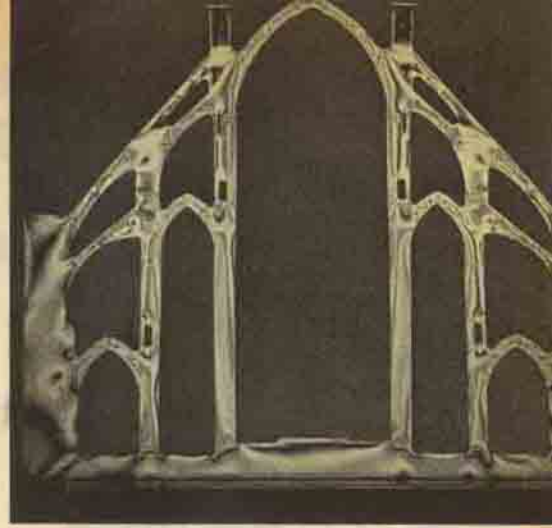
Tam bu sıralarda biz, betondan ince kabuk çatı yapılarının davranışları üzerinde bir araştırma ile meşguldük. Bunun için de optik gerilme analiz teknikleriyle plâstik modelleri inceliyorduk. Bu teknikler aslında özel mekanik bileşikleri incelemek üzere geliştirilmişti. Araştırmamızın bir amacı da, bu metodu yapısal plânlar ve tüm binalar üzerinde uygulamaktı. Betonun türdeş olmayan maddelerin bir karışımı olması ve yersel mikro çatlakla-

Bourgse'in modeli. Koro mahallinin bir kesimi, ölü ağırlıkla yüklenmiş bir durumda polarskopta iken alınmış fotoğrafı.

ra sebep olmasına rağmen, biz modelden alınan sonuçlarla, içsel kuvvetlerin ve betonarme yapıların ekseninden oynamasının, önceden haber verecek nitelikte güvenilebilir şekilde ölçülebileceğini meydana çıkardık. Aynı zamanda bir duvarcı yapısının da bu tip bir analize uygun geleceğinin farkına vardık, tabii bu yalnız, o alımlı basınç kuvvetlerinin etkisi altında olduğu takdirde mümkündür. Aslında bu yapıda tam bir birlik bulunmasını gerektiriyordu ki gerçek büyüklükteki taş yapılarda bu yoktu, bununla beraber model düzgün olmayan bölgelerin büyüklüğünü ve yerini gösterebiliyordu. Eğer bir modelde belirli çekme ve basınç gerilimleri bulunursa, bunlar yersel olarak değiştirilebilir, örneğin gerilim bölgelerinde yapılacak bir kesik çatlamaş bir yerli temsil edebilir ve bu gibi düzgünsüzlüklerin etkilerini incelemek için kullanılabilir. Bundan Gotik yapıtların gerçek yapısal davranışlarını incelemek ve böylece muhtemelen Ortaçağ mimarlarının bu konudaki niyetlerini meydana çıkarmak için model testlerinin kullanılması uygun görülmüştür.

İlk deneme incelemelerimiz bizi Kültür bilimiyle ilgili meslekdaşlarımızla temasa getirdi. Birçok mimarlık tarihçisi, bu mühendislik gücünün büyüklüğü karşısında meraklanarak, gerekli önderlik ve eleştirme sağladılar. Bizim ilk çabalarımız Amiens Katedralinin sahanının bir kesimini düşen yüksek rüzgâr ve ölü ağırlık yüklerinin sonucu olarak meydana gelen içsel kuvvetlerin dağılımını incelemeye kapsıyordu. Özel olarak şöyle bir buluşumuz oldu: Ayak şeklindeki desteklerin dış kenarları üzerindeki sivri tepeli kuleler yersel gerilimlerin önüne geçerek destek ve kemerlerin bütünlüğünü sağlamaya yardım ediyordu. Halbuki hayalcilerin ortaya attığı bir iddiaya göre sivri tepeli kulelerin sırf dekoratif bir görevleri olmalıydı, çünkü kabaca istikrar bakımından onların yerleri ayak şeklindeki desteklerin dış kenarlarından ziyade iç kenarlarında olmalıydı; işte bu analiz böyle bir iddiayı tamamiyle çürütmüştü.

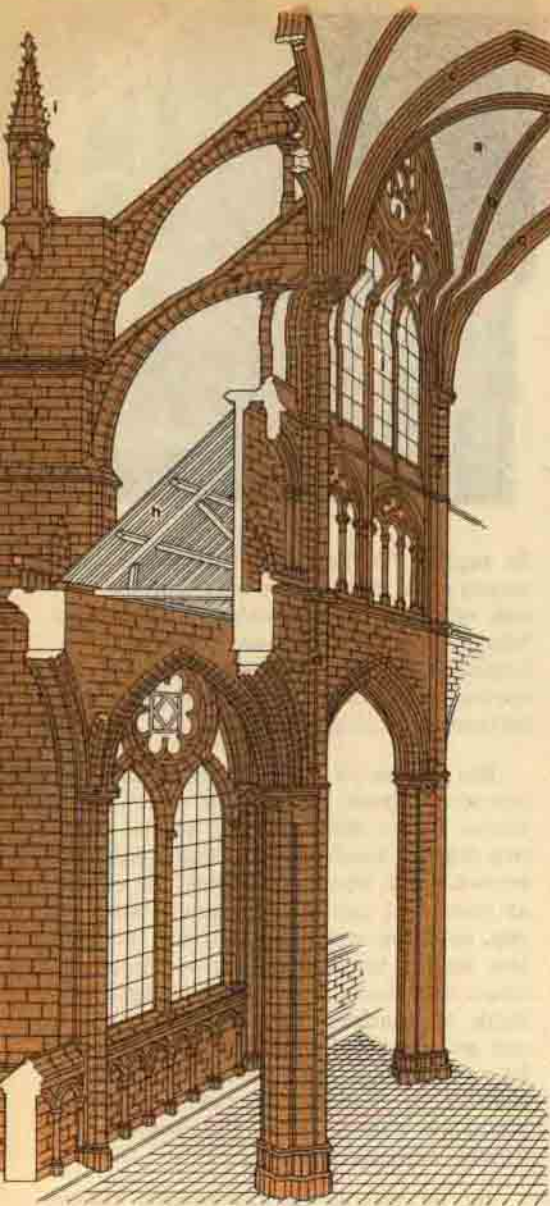
Başka bir inceleme de, Rouen'deki eski Gotik St. Quen Kilisesi, Gotik devre için



de yapısal fikirlerin nasıl geliştiğini göstermiş oldu. Bu incelemenin özellikle tatmin edici bir sonucu sahnın dikmelerinin belirli bir bölgesinde bazı çatlakların bulunacağını önceden haber vermemiz olmuştu ki, sonradan gözlemler böyle çatlakların bulunduğunu ispatladı.

Biz tamamiyle kısmi olarak Gotik mimarının yapısal lüzum ile mi, yoksa «zevk» ile mi dürtüldüğünü ortaya çıkarmış değiliz. Yapıların nasıl çalıştığını göstermekle biz, bununla beraber, hiç olmazsa onun asıl yapısal ihtiyaçlara nasıl cevap verdiğini meydana çıkardık ve böylece tarihçi tarafından sorulan birçok soruları aydınlatmak için bir başlangıç sağladık. Muhtemelen Yüksek Gotik yapılarının gelişmesi hakkında en aydınlatıcı çalışma yakın zamanda yaptığımız bir incelemedir ki, bunda Chartres'in ve Bourges'in ilk yüksek Gotik Katedralleri mukayese edilmektedir.

Bu iki yapının da yapılmasına 1195'te başlanmıştır. Chartres'da iş, görünüşe göre sahnla başlanarak batıdan doğuya doğru ilerlemiştir. Bourges'te ise doğudan batıya doğru ilerlemiş ve koro mahallinin 1214'te bitmesine rağmen yapının öteki kısımları hemen hemen bir yüzyıl daha sürmüştür. Bu iki katedralin esas boyutları birbirlerine çok yakındır; Bourges biraz daha geniş ve yüksek, Chartres ise uzundur. Chartres'in üç geçiti ve sahn ile koro mahalli arasında bir yan yolu vardır; Bourges'te ise devamlı beş geçit vardır ve yan yolu yoktur. Chartres çok güzel bir binadır, özellikle ayrıntıları bakımından. Daha baştan beri bu katedral üzerinde bü-

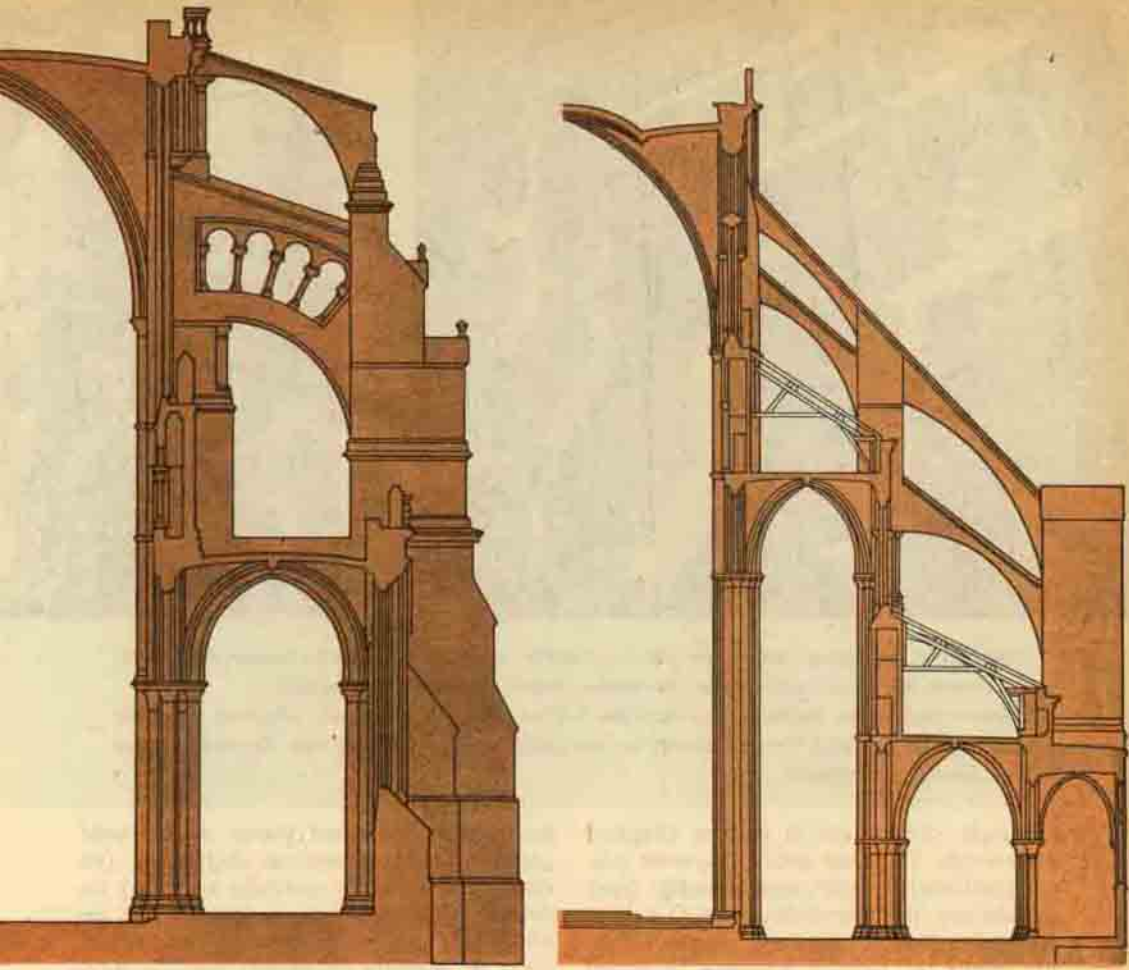


Yüksek Gotik katedrallerin yapısal özellikleri
Amiens katedralinin, ünlü Fransız mimarı Eugène Viollet-le-Duc'un yaptığı bir çizime dayanılarak yapılan resminde belirtilmiştir. Sivri tonozlar (a), uzun ayaklar üzerine binen çapraz (b) ve düz (c) kaburgalar sistemi ile inşa edilmiştir. Dikmeler, bir uçları dışardaki ayak şeklindeki desteklere (f), binen istinat kemerleri (e) ile desteklenmiştir. Diğer yapısal öğeler; tonozun kilittası (g), yan geçitin çatısı (h) ve sivri tepeli kule (pinnacle) (i)'dir. Yan geçitin yukarıdaki pencere duvar kısmına ara pencereler (j) denir.

yük bir hayranlık toplamıştı. Başlangıçtaki bazı direnmelerden sonra o standart kabul edilmişti, böylece 12 nci yüzyılı karakterize eden Gotik yapı şekilleri üzerinde devam etmekte olan denemelerin dönemi de kapanmış oluyordu. Öte yandan Bourges, hayranlık veren büyüklüğü ve güzelliğine rağmen, mimarlar arasında *Chartres'e verilen önemi kazanamamıştı.*

Yapmakta olduğumuz inceleme için önemli olan nokta destekleme sisteminin şeklinin Yüksek Gotik Katedrallerinin hiçbirinde bulunmamasıdır. Gotik katedrallerinden bahseden edebiyatta Chartres daima ön planda gelmektedir. Bourges'in ise yalnız ilginç çıkma notlarda adı geçmektedir, fakat o Columbia Üniversitesinden Robert Branner tarafından tam modern bir inceleme konusu olarak seçilmiştir. Branner'e göre Chartres'in daha üstün tutulmasının başka bir sebebi onun taklide elverişli olmasıdır: Onun plânı hemen hemen her yerde kullanılabilecek bir nitelikteydi, Bourges'e gelince, onun plânını bütün olarak adapte etmeğe imkân yoktu. Aynı zamanda Chartres Paris'ten atla bir günlük bir uzaklıktaydı ki, böylece o kilise ziyaretçileri ve Ortaçağ mimarlarınca Paris'ten daha uzakta olan Bourges'ten çok daha iyi tanınıyordu. Bu iki katedralin plânlandığı vakit dışarıya doğru uzanan istinat kemerleri tamamiyle yeni bir şeydi. İlk olarak onlar 1170 yılında Paris'te Notre Dame'da uygulanmıştı, fakat bu sistemin esas gelişmesi Chartres ile Bourges'ta olmuştur. İki binanın yan kesitleri iki ustanın ayrı ayrı destekler kullandığını göstermektedir (Şekil'e bkz.) Chartres'de bütün sistem, hafif üst destek kemerleri dışında, çok ağırdır. temeli hariç olmak üzere ayak şeklindeki uzun desteklerin herbiri 10.000 ton gelmektedir. Halbuki Bourges'da ise bir seri ince dik meylli istinat kemerleri ayak şeklindeki alçak desteklerle desteklenmişti ve bunların ağırlıkları 400 tondu.

Chartres'in bütün öteki özelliklerinden ve yapısından çok şeyler yazılmıştır. Frankl'a göre, «Chartes katedralini yeneden inşa eden usta... istinat kemerlerinin yapımından mantıklı sonuçları çıkaran ilk insandı». Otto von Simon da aynı konuda şöyle yazıyordu: «Chartres'in istinat kemerleri tüm bir yapının tamamlayıcı kısımları olarak, yalnız yapısal bakımdan değil, estetik bakımdan da ilk kavranan

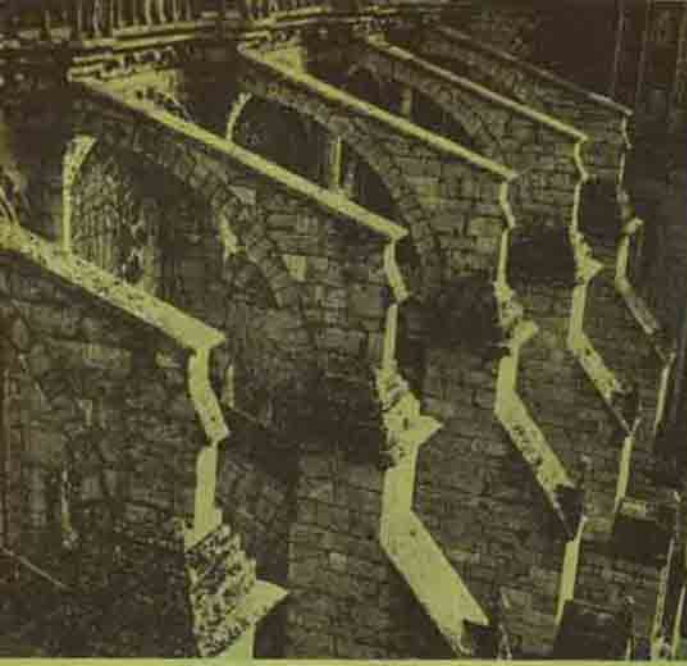


Chartres ve Bourges katedrallerinin kesitlerinin karşılaştırılması. Chartres katedrali (solda) sahininin üç geçitli düzeni, yüksek gotik katedraller için örnek olmuştur. Bourges katedralinin (sağda) koro mahallinin beş devamlı geçiti vardır. İstinat kemerleri tonoz ve çatı yüklerini, Bourges katedralinde, Chartres katedralinden daha iyi bir şekilde temele iletirler. Bourges katedralinin kesiti, Robert Branner'ın yaptığı ilk çizime göre yapılmıştır.

şeylerdi». Hemen hemen bütün eleştiriciler çatı düzeyindeki hafif destek kemerlerinin rolünü eleştirdiler. 1316 tarihine ait bir belge de, gotik iç yapının davranışının ve Ortaçağ mimarının yapısal gerekler hakkındaki düşüncelerinin ne kadar az bilindiğini göstermesi bakımından ilginçtir. Bazı yazarlar kemerlerin yalnız dekoratif bir maksada hizmet ettiğini yazmaktadır ve nasıl çalıştıkları hakkında ise hiçbir fikir birliğine varılamamıştır.

Meslek arkadaşı Alan Borg 1316 belgesini yeniden yorumladı ve sanat tari-

hiyle ilgili topladığı delillerle Chartres'in üst destek kemerlerinin orijinal yapının bir parçası olduğunu ortaya koydu, fakat onların fonksiyonu hâlâ üzerinde önemle durulacak bir konudur. Ortaçağ çatı çerçevesi, çatıyı kalın sivri çapraz elemanların yardımıyla destekleyen dikmeler arasında bağlandığından, dikmelerin üst kısımlarına gelen yan yükler rüzgârın etkisinden gelmektedir. Üst kemerin 1316'dan sonra ilâve edildiği ve bunun orijinal yapıdaki bir hatayı düzeltmek için yapıldığı düşüncesi, eğer üst istinat kemerinin esas



Chartres'in üst istinat kemerleri oldukça hafiftir ve esas yapıdaki bir hatayı düzeltmek için sonradan 14. yüzyılda ilâve oldukları tahmin edilmektedir (solda).

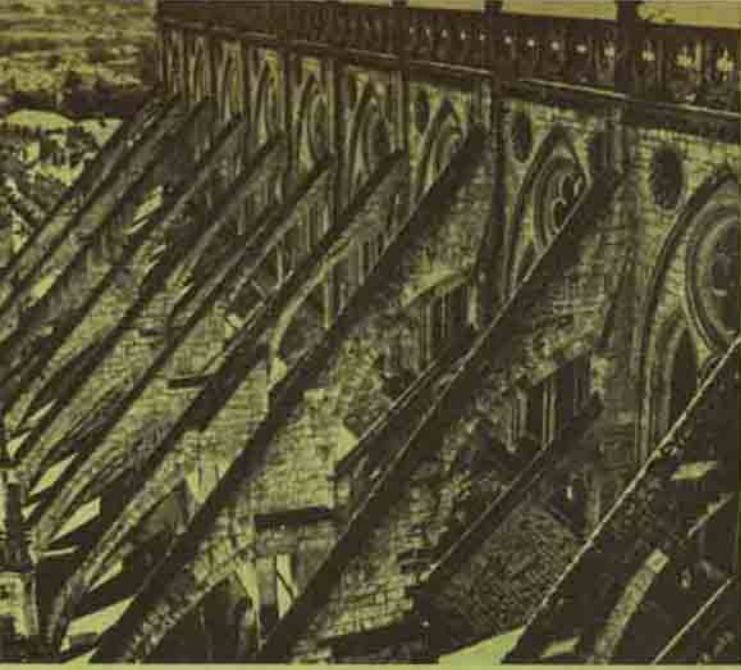
Yazarın analizi ise bunların muhtemelen orijinal plânın bir parçası olduğunu meydana koymaktadır (sağda). Yerden alınan bu fotoğrafta ayak şeklindeki ağır dikmeler istinat kemerlerini örtmektedir.

İtibariyle yüksek çatıya çarpan rüzgârın dikmelerde meydana getirdiği yersel çekme gerilimlerini azaltmağa yaradığı ispat edilebilirse, doğrulanabilecektir. O zaman kullanılan harçın çekmeye dayanıklılığının yalnız bir parmak karesine 30 pound (30×6895 Newton/m²) olduğu tahmin edilmiştir, halbuki taş bu yükün 100 katı basınca dayandığına göre bir taş ve harç yapıda gerilimin azaltılması veya tamamıyla ortadan kaldırılması kritik bir plân gereği idi.

Dikmeye binen yükü (dikmenin cevabını) incelemek için çağdaş yüksek binalar ve eskiden yapmış olduğumuz katedral etüdlerinde kullanılan mühendislik analiz metodları uyguladık. İlk olarak katedralin ömrü süresince Paris dolaylarında hâkim olan en kuvvetli rüzgârların hızını saptamak için meteorolojik veriler toplamağa başladık ve hava tüneli denemelerinden bu verilerle ilişkisi olan en kuvvetli hava basınç dağılımını ve ayrıca binanın bulunduğu alan ile yapının geometrisini tespit ettik. Bundan başka 1:80 ölçeğinde Chartres'in destek kesiminin plâstikten tipik bir modelini yaptık, bunda

üst destek kemerleri yoktu ve üzerinde gerçek rüzgâr basıncının dağılımını (ve rüzgârdan korunan taraftaki emmeyi) inceledik. Çok şükür ki, sistematik bir şekilde yapılmış olan Fransız katedralleri basit iki boyutlu (yüzeysel) analizle incelenebiliyordu, zira sahin (kubbe altı) genellikle aynı ölçüde çıkmalara bölünmüştür ve yan geçitlerin dikmeleri ve çapraz kemerlerinin hepsi aynı yüzeydedir ve çıkmalardan gelen yükler tamamıyla bu elemanlara yöneltilmiştir. Biz yekpare temel dikme ve destekleri zemin düzeyinde sıkı sıkıya tuttuklarını kabul ettik, yani onların temelde herhangi bir oynamasına müsaade edilmez. Yapısal elemanların yan kesiti tamamıyla modele alınmamıştı (Örneğin oluklu dikmeler dikkâretgen kesitlerle temsil edilmiştir). Bütün tüm yapının analizi bu bakımdan bazı farklar gösterirse de, o kadar önemli sayılmaz.

Model yapımında kullanılan Epox-plâstik 150°C'ye kadar ısıtıldığı takdirde bir lâstikleşme dönemine girer. Sıcaklık azaltılınca ve normale dönünce, yüksek sıcaklık devresinde üzerinde bulunan yük-



Bourges'in İstinat kemerleri değişik zamanlarda yapılmıştır (solda). Koro mahallini destekleyenler (arka plânda) sahin için kullanılanlardan daha hafiftir, bunlar daha sonra yapılmıştır. Sahin istinat kemerleri çatıya daha yakın gelmektedir. Koro mahallindeki ayaklar tam istinat kemerleriyle birleştikleri yerlerden korkuluk ile; duvar da tam çatının altından (sağda) takviye edilmişlerdir.

lerin etkisiyle meydana gelen şekil değişikliklerini aynıyle muhafaza eder. Bu sürece «gerilim donması» adı verilir, çünkü modelin üzerindeki yük model soğuduktan sonra üzerinden alınır ve onda hiçbir değişiklik meydana gelmez, böylece model istenildiği gibi incelenir ve fotoğrafı alınır.

Tarihsel binaların şekil değiştiren (deforme olan) modelindeki iç kuvvet dağılımını fotoelâstik gözlemlerle belirlenir, bir polariskop içine konulan modelin meydana getirdiği polarize ışık girişim kalıbı gerilimleri, bir eş büyüklük eğrileri; haritasında olduğu gibi gösterir. (Renkli resimlere bak.) Beyaz ışıkla aydınlatıldığı zaman kalıptaki her çizgi seçkin bir renkle belirlenir, ki bu da girişimin özel bir düzenine işaretler. Her noktadaki gerilimin şiddeti girişim sırasının özel bir kat sayısı ile çarpılması ile bulunur, ki bu kat sayısı model malzemesinin bir örneğinden elde edilir. Ölçme kanunları bundan sonra aynı koşullar altında tam ölçüdeki şeklin davranışının önceden ne olacağını saptanmasında uygulanır.

İlk testten sonra modeli tekrar eski deforme olmamış şekline getirmek için tav-

ladık, ondan sonra ölçüsüne uygun üst destek kemerlerini yüksek sıcaklık epoxy çimentosuyla birleştirdik ve rüzgâr yüküne tekabül eden ağırlıklarla ikinci bir test yaptık. Analizin son devresinde, çatının ve çevresinin yüklediği ölü ağırlık tarafından dikmelerde meydana gelen gerilimi, dikmelerin kritik kesimler üzerine gelen ağırlıklar ve duvar pencere boşlukları üzerindeki uzunlamasına ağır kemerlerin ağırlıkları hesap edildi. Bu ölü ağırlığın etkisi ile yüksek rüzgâr kuvvetlerinin meydana getirdiği gerilimler birleşince yapıda bulunduğu tahmin edilen en büyük gerilimler ortaya çıktı. Ayakların bulunduğu kesimdeki bütün basınç değerleri, dikme kaidelerindeki gerilimlerden çok daha azdırlar. Rüzgâr tarafından dikmelerin rüzgâra karşı kenarlarında tam ana kemeri destekleyen istinat kemerlerinin üzerinde de alçak çekme gerilimleri meydana çıktı. Yapının ayaklarla desteklenmemiş kısmında dikmelere düşen bu gerilimin yüksek değerleri çatının üst düzeyinde saatte 70 kilometre ortalama hızla esen rüzgârların şiddetine eşit geliyordu, desteklenmiş ayaklarla takviye edilmiş kısımda ise bu saatte 95 kilometre rüzgârın şid-

detine tekabül ediyordu. Rüzgâr şiddetinin en yüksek olduğu koşullarda, zemine yakın yerlerde saatte 105 kilometre ve çatı düzeyinde 135 kilometre olduğu zaman desteklenmemiş dikmelerde çekme gerilimi en fazla parmak kareye 65 pound (65×6895 Newton/ m^2) ve desteklenmiş dikmelerde ise 30 pound (30×6895 Newton/ m^2) oluyordu. Başka bir deyimle yüksek rüzgârların estiği zamanlarda üst dikmelerde yersel bir gerilim faaliyeti olan bir bölge görülüyordu. Eğer burada üst istinat kemerleri olmasaydı, bu durum çok daha alçak rüzgârlarda da kendisini gösterecek ve dikmelerin yıkılması ihtimali daha da büyük olacaktır, fakat destek kemerleri de bu problemi tamamiyle ortadan kaldıramazdı, bu açık yapısal bir hatayı düzeltmek için çok hafif olacaktı.

Gerek modellerin analizinden ve gerek sanat tarihi çerçevesindeki gözlemlerden tam anlamında bir sonuç çıkarmak mümkün olamadığı halde, her iki delil kaynağı da üst destek kemerlerinin orijinal yapının bir parçası olduğu sonucunu vermektedir. Analiz bu destek kemerinin ağır dikmeler kesimine küçük bir etkisi olduğunu göstermiştir ve 1316 uzmanlarının bunun ilâvesini tavsiye ettiklerine inanmak oldukça güçtür. Onlar artık destek kemerleri bakımından epey bilgi ve beceriye sahiptirler ve bunları muhakkak lüzumlu görmeselerdi, fazladan destek kemerlerinin güç ve pahalı olan ilâvelerini tavsiye etmezlerdi.

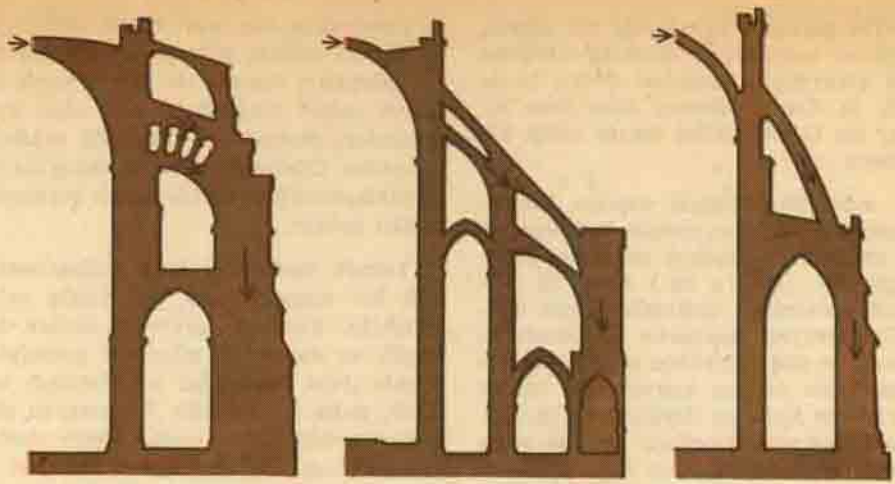
Bu analizin önemi, üst destek kemerinin tarih ve amacı gibi görünüşte basit bir konunun çok ötesine geçmektedir, zira çıkardığımız sonuçlara göre Chartres'in mimarı bu konuda pek emin değildi. Yapının başladığı zamandaki sanat durumu gözönünde tutulursa, bu pek büyük bir sürpriz teşkil etmez. Fakat çağdaş Bourges'in koro mahallini incelediğimiz ve onun hafif açık ayaklarını ağır (hattâ kaba) Chartres sistemiyle mukayese ettiğimiz zaman ortaya tamamiyle başka bir tablo çıkar.

Bourges için test modeli plânlanırken onun 6 parçaları tonozunun hesaba katılması gerekiyordu. Bütün dikmelere eşit yük dağıtan Chartres'in dört parçalı tonozlarına hiç benzemeyen Bourges tonozları ise iç geçit boyunca ayak şeklindeki ana desteklere durumlarına göre değişik,

ağır veya hafif yük veriyorlardır. Yüksek tonoz yüklerini üzerine alan özel bir «kuvvetli» ayak kesiminin $1 + 107$ ölçüğünde epoxy plâstikten modeli yapıldı ve Chartres incelemesi ile ilgili olarak teste tâbi tutuldu, ilk önce ölü ağırlık yükü altında, sonra rüzgârın taklit edilen yükleri altında.

Bourges ile ilgili elde ettiğimiz en iyi meteorolojik veriler ondan 35 mil kadar güney batıda bulunan Châteauroux'ya aitti ve Chartres'e ait 100 yıllık bilgiler sağlanmasına rağmen, bunlar ancak 10 yılıktı. Bundan çıkan sonuç Bourges'in Chartres'e oranla daha iyi korunan bir yerde olduğuydu. Katedralin çatı düzeyinde rastlanan en büyük ortalama rüzgâr hızı saatte 65 mil olarak kabul edilmişti. Bir binaya karşı gelen rüzgâr kuvvetleri rüzgâr hızının karesiyle hesap edildiğinden, Chartres'in saatte 85 mil alınan rüzgârına göre elde edilen 110 ton, burada 60 tona iniyordu.

Ölü ağırlık yükü ile rüzgâr yükü beraber alınınca bütün kesimlerdeki gerilim düzeyleri oldukça alçak bulunmuştu. En yüksek basınç gerilimi, ana dikmelerin kaidesinde, parmak kare başına 300 pound (300×6895 Newton/ m^2) veya öteki yüksek Gotik binalarında hesap edilenin $2/3$ 'si idi. Bu bir yandan hâkim rüzgârların daha düşük hızla esmesinden, bir yandan da yapının daha geniş bir profil üzerine oturtulmasından ileri gelmekteydi. Bourges koro mahallinde çatı düzeyinde üst bir destek kemeri olmadığından, bir özellikle görsel ince desteksiz üst ana dikmeyi incelemeye ilgi gösteriyorduk. Biz tonoz baskısının tamamının her dikmeyi destekleyen iki destek kemerinin aşağıdaki tarafından taşındığını bulduk. Daha yukarıdaki ise çatı ve korkuluğa düşen rüzgâr yükünü karşılamak için yapılmış olmalıdır. Acaba neden Chartres'teki gibi çatıya yakına getirilmemişti veya bu maksatla daha eski bir yapım kampanyasında (1232'den sonra) inşa edilmiş olan Bourges'in yedi sahnin dikmesi gibi yapılmıştır? Bunun cevabı, eğer insan daha yüksekteki istinat kemeriyle dikmenin kesiştiği çizgiyi incelerse, koro mahallinin pencere duvarının da gözle görülebileceğidir. En büyük bükülme momentinin bu noktasında dikme korkuluğun aşağı kısmıyla kalın bir T-kesimi meydana getirecek şekilde takviye edilmiştir. (Şekil-



Daha hafif ve basit bir yapı şekline geçiş. Chartres (solda), Bourges (ortada) ve St. Quen (sağda). Guadet Klâsik destekleme sistemi yerine dik meyilli kemerleri getirmiştir. Analiz bu sistemin üzerine düşen kuvvetleri azalttığını göstermiştir.

e bk.) Testler göstermiştir ki, rüzgâra karşı olan üst dikmede meydana gelen en yüksek çekme gerilimi, çatı düzeyinde ortalama rüzgâr hızı saatte 90 kilometre olan rüzgârlara tekabül ettiğini göstermiştir; buradaki gerilim en yüksek rüzgâr koşulunda parmak kareye 10 pounddan (10 X 6895 Newton/m²) aşağıdadır. Bourges'in hafif koro mahalli yapısı böylece yüksek çatıya bir istikrar sağlamaktadır ki, bu Chartres'in çok daha ağır ayak sistemiyle elde ettiği şeyle mukayese edilebilir. İnsanın âdeti; sahanın plânını yaptığı zaman, koro mahallinin ayaklarının gözle görülen kalıbını açıkça korumağa çalışan ikinci bir Bourges mimarının Chartres'in özelliklerini bildiğine ve kendinden önceki meslektaşının cüretine şaşıtına inanacağı geliyor. O orijinal plânı istinat kemerlerini derinleştirmek suretiyle değiştirdi ve daha yüksek ayağın dikmeye olan istinat noktasını yükseltti.

Bizim analizimiz; aynı zamanda aşağıdaki ayak şeklindeki destek, sivri tepeli kulesi olmaksızın üzerine bir gerilim olmayacağını ve mevcut sivri tepeli kulelerin Amiens'teki ayak şeklindeki desteklerin örneğinde olduğu gibi, hiçbir yapısal rolleri olmayacağını göstermiştir. Bu gözlem Bourges kulelerinin 19'cu yüzyıla ait bir ilâve olduğu gerçeğine de tamamiyle uymaktadır.

1902'de Fransız mimarları arasında bir otorite olan Julien Guadet tarafından Rouen'deki geç Gotik kilisesi St. Quen'e ait yayımlanan bir eleştiride Bourges mimarının üstün başarısı biraz daha aydınlanmış oldu. O klâsik binanın biricik gerekliliğini tartıştı; masif ayak şeklindeki destekler istinat kemerleri vasıtasıyla sahanın kuvvetlerine karşı koyabiliyorlardı. O orijinal iç yapının değiştirilmeksizin dik meyilli kemerlerin ayak sistemi yerine konmasıyla çok daha hafifleyeceği tezini ortaya attı. Bu plân az malzemeye ihtiyaç göstermekle kalmıyor, aynı zamanda daha basit bir yapı süreci de ortaya çıkarıyordu.

Guadet grafik bir kuvvet analizi de yayımlayarak bu plânı takviye etti, fakat analiz metodunun bir eksik tarafı vardı, o da yapısal elemanların birbiriyle olan karşılıklı çalışmalarını hesaba katamıyordu. Örneğin, asıl yapıda dikmenin kemerle birleştiği noktadaki herhangi bir yer değiştirme kemerin sonunda aynı bir yer değiştirmeye tekabül eder. Bu karşılıklı çalışmalarda büyük kuvvetler ortaya çıkabilir ve bunların etkileri ihmal edilecek cinsten değildir. Guadet'in plânının model testinde biz bu kuvvetleri hesaba katık. Rüzgârın etkisinin de gözönünde tutulabilmesi için, daha başka değişikliklerin yapılmasına lüzum olmasına rağmen, test

Guadet'in plânının uyguladığı ölü ağırlık yüklemeler bakımından mantıklı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bundan dolayı bizde değişik St. Quen plânının daha ileri kuramsal bir Gotik şeklini temsil ettiği kanısındayız.

Üç aynı büyüklükteki yapının kesitlerini karşılaştırdığımız zaman bunların yapısal gelişme kademeleri meydana getirdiği görülür. (Şekil'e bk.) Ayak ile destekleme sisteminde kullanılan taşın miktarı Chartres'ten Bourges'a ve Guadet'in St. Quen'ine doğru gittikçe azalıyordu. Bu azalma tonoz ve çatı kuvvetlerini istinat kemerlerinin açılarını büyülterek yükü daha fazla doğruca temellere vermek suretiyle elde edilmiştir, bunun sonucu olarak ayak şeklindeki desteklerin de yükseklikleri azalmıştır. Koca yapı taşlarını kesmek için o zaman elde bulunan ilkel makineler ve taşların ne büyük zorluklarla yerlerine çıkarılması düşünülürse, Bourges istinat kemerlerinde elde edilen % 60 bir azalmanın Chartres'inkilerle kıyaslandığı zaman, yapıda ne kadar büyük bir tasarruf sağlandığı ortaya çıkar.

Chartres'in son marifeti de, istinat kemerlerini, «bütün yapı plânının tamamlayıcı parçaları olarak» ele alacak yerde mimarın onları olağanüstü ağır olan ayak şeklindeki desteklerin arkasında saklamış olmasıdır. Gözlemcinin sahin duvarına iyice yaklaşmadığı takdirde onları görmesine imkân yoktur.

Teknik özellikleri iyice anlaşılmayan açık bir mimarî tarzı bile yanlış tefsir edilebilir. Problem, projenin ölçüsü çok büyük ve dayandığı teknoloji prensipleri plânda daha hayati bir rol oynadığı takdirde, daha da ciddidir. Chartres'in esas katkısı estetik idi; o ondan sonra yapılan Yüksek Gotik binalar için bir model olmuştur. Bununla beraber teknik bakımından Chartres iddia edildiği kadar devrimsel bir yapı değildi. Öte yandan, Bourges tarafından kabul edilen yapısal çözüm tamamıyla biricikti. Aslında o zamanın çok ilerisinde bir çözüm yolu bulmuş sayılabilir.

SCIENTIFIC AMERICAN'dan

ÖTESİNİ DE BİLGİNLERİNİZ DÜŞÜNSÜN

İngiltere'nin eski Savunma Bakanı Denis Healey İşçi Partisinin Blarkepool Kongresinde şu fıkrayı anlatmıştı :

Savunma Bakanı bulunduğum sırada, bir gün bir adam bana geldi ve denizaltı tehlikesine karşı bir çare bulduğunu söyledi. Bunun ne olduğunu sormam üzerine şu cevabı verdi :

«Aslında mesele çok basittir. Yapılacak biricik şey buhar haline gelinceye kadar denizi kaynatmaktır. Bu yapılırca bütün denizaltılar batar ve denizden hepsini toplamak kabil olur.»

Çok ilginç bir buluş, diye cevap verdim, fakat denizi nasıl kaynatacağımsınız ?

Adam, Sayın Bakan dedi, «dünya çapında parlak zekâlı binlerce bilginler emrinizde çalışmaktadır. Ben size esas önemli olan fikri veririm, ayrıntılar üzerinde düşünmek size aittir.»

NEW SCIENTIST'ten